

海外研究報告

マックマスター大学体育学部運動生理学研究室における骨格筋の形態及び機能的特性に関する研究活動

The Study of Structural and Functional Characteristics of the Human Skeletal Muscle at the McMaster University

角 田 直 也

Naoya Tsunoda*

筆者は本学の長期在外研究員制度により1985年3月より1986年3月までの一年間、カナダ・オンタリオ州・ハミルトン市のマックマスター大学(McMaster University) 体育・スポーツ学部(School of Physical Education and Athletics)の運動生理学研究室(写真1.)においてJ. D. MacDougall博士とD. Sale博士たち(写真2.)と“ヒトの骨格筋における形態及び機能的特性”に関する研究を行なう機会を得た。

この紙面をかりてマックマスター大学体育学部運動生理学研究室の研究活動と筆者の行なった研究を紹介したい。

筆者が滞在していた時期の運動生理学研究室はMacDougall博士(教授), Sale博士(助教授)と筆者, それに修士課程に在籍する大学院生2名と有能な技師(J. Moroz氏)の計6名で構成されていた。また, 彼らの研究テーマはMacDougall博士が呼吸・循環機能及び筋形態, Sale博士が神経-筋機能と広範囲の分野に亘っていた。

そこで, 本稿では主として筆者が行なった“随意及び不随意による筋力発揮特性と関節角度変化の関係”及び“肘関節屈筋群の形態と機能の関係”

に関する研究について述べることにする。

1. 随意及び不随意による筋力発揮特性と関節角度変化の関係に関する研究

ヒトの発揮する随意最大筋力が関節角度によって左右される事は周知の事実であり, Kulig ら(1984)によって総説されている。即ち, 発揮された筋力が最も高い値を示した角度を至適角度と呼ぶと, 至適角度に対して関節が伸展していても屈曲していても随意最大筋力は低下する。

一方, 電気刺激による最大単縮(不随意での筋収縮)力と関節角度との関係は随意での筋力発揮の場合と異なり, その最大単縮力は関節の伸展に伴なって増大することが肘関節屈筋群(Ismail, H. M. と K. W. Ranatunga, 1978), 足背筋群(Sale, D. ら, 1982)等で明らかにされている。その下腿筋群(足背及び足底筋)に関する研究はSale博士が同大医学部神経科学研究室の教授で骨格筋に関する研究グループのリーダーであるA. J. McComas博士たちと行なった仕事である。

McComas博士らの行なった電気刺激による骨

*Lab. of Exercise Physiology
Faculty of Physical Education
Kokushikan University

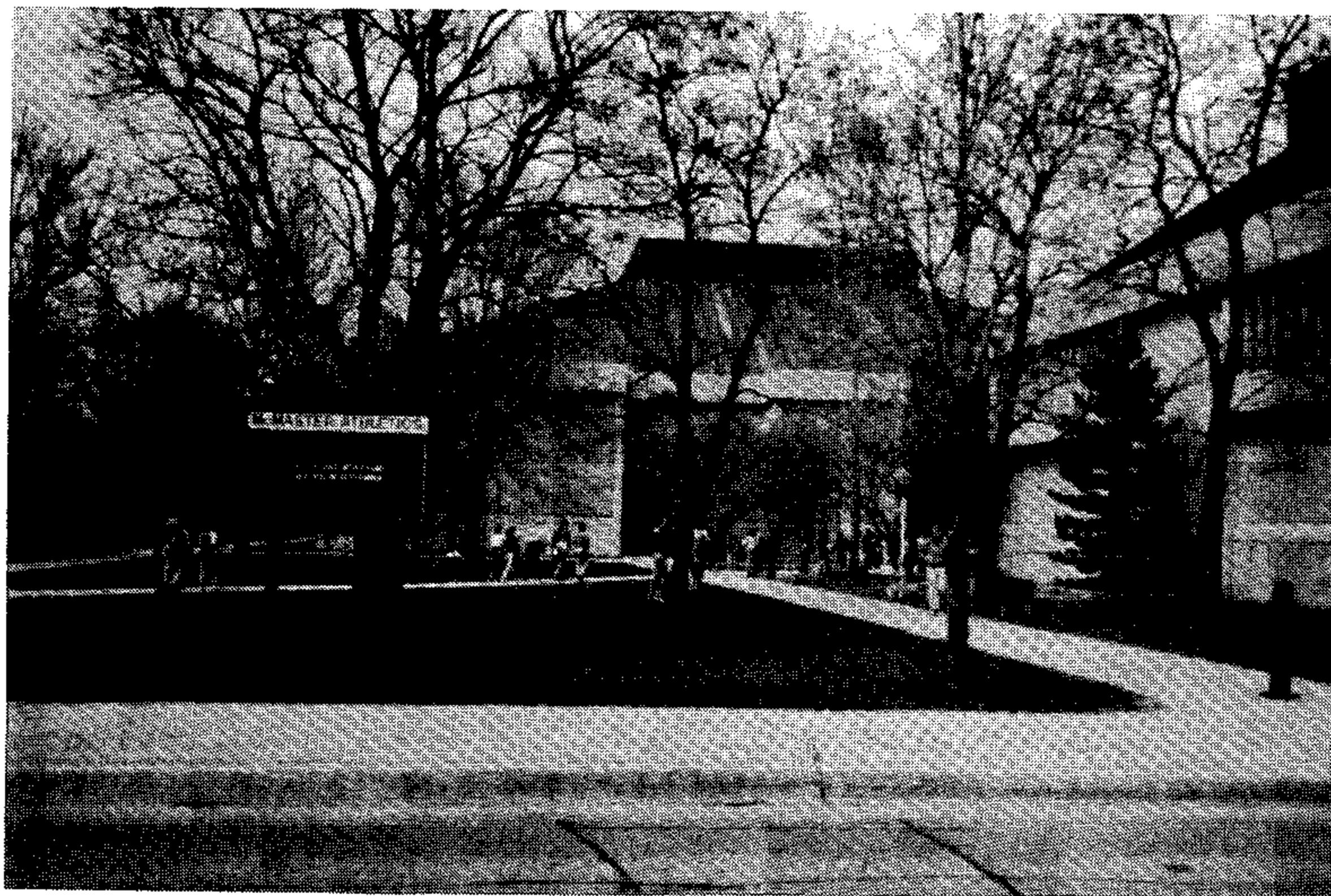


写真1. マックマスター大学の体育学部校舎



写真2. J. D. MacDougall 博士（左）と
D. Sale 博士（右）

格筋の収縮特性に関する仕事は神経生理学関係のジャーナルに数多く登載されている。Sale 博士の電気刺激に関する実験技術は McComas 博士から指導を受けた大学院（博士課程）時代（7～8年前）に習得したとのことであった。著者も電気刺激実験に関するアドバイスを McComas 博士から受ける事が出来、大変光栄であった。

そこで、筆者たちは随意及び不随意による筋力発揮特性と関節角度変化の関係に及ぼす筋肥大の影響と性差について検討した。

まず、筋肥大の影響をみるために、男子のボディビル選手と一般成人を被検者として、右腕の肘関節屈筋群の等尺性による随意最大筋力と最大単縮力を7種の異なる関節角度（75度から165度を15度間隔）で特別に作成したストレンゲージ式の筋力計（資料1の Fig. 1 参照）で測定した。

また、単縮は上腕二頭筋の筋腹中央に鉛製の電極（ $5 \times 5 \text{ cm}$ ）を装着して経皮的に単一の矩形波（時間は50～100 μs ）で筋を刺激して生じさせた。また、その刺激の強度は単縮力が最大値を示すまで電圧を増加させた。

その結果、ボディビル選手の随意最大筋力はすべての角度で一般男子より有意に高い値を示した。例えば120度ではボディビル選手の値は一般成人男子より約37%高い値であった。一方、前述の至適角度はボディビル選手及び一般成人男子とも120度を示した。

しかし、関節角度変化に伴なう随意での筋力発揮の様相は一般成人男子とボディビル選手では有意に異なり、ボディビル選手の方が関節角度変化に伴なう随意最大筋力の変化量は大であり、至適角度付近における最大筋力は他の角度に比べ著し

く大きな値を示した。

しかし、最大単縮力は各関節角度とも一般成人男子とボディビル選手の間には有意な差異が認められなかった。また、両群の単縮力は75度が最も小さく、その値は肘関節の伸展に伴って高くなる傾向が認められた。これは、Isamail と Ranatunga (1978) とほぼ一致する結果であった。

同様に、筋力発揮特性と関節角度の関係を一般成人の男女について比較検討した。

女子の随意最大筋力はすべての角度において男子より著しく低い値を示した。また、女子の至適角度は90度であったが、75度～135度の間では角度に伴う最大筋力の著しい変化はみられず一般男子及びボディビル選手とは異なる様相であった。

また、最大単縮力もすべての角度において男子より低い値を示した。さらに、女子の最大単縮力は90度～165度で著しい変化を示さなかった。

この関節角度と性差については大変関心のあるところであり、今後さらに検討する必要がある。

これらの結果は1985年10月のカナダ・スポーツ科学会議, CASS 1985, (資料1及び2)と1986年5月のアメリカ・スポーツ医学会, ACSM 1986, (資料3)で報告した。

2. 骨格筋の形態と機能に関する研究

MacDougall 博士と Sale 博士は1977年頃から“ヒトの骨格筋の活動性肥大や不活動性委縮とその機能的変化のメカニズム”を探究しており多くの論文を発表している。

筆者らも骨格筋の形態と機能的特性の関係をスポーツ種目 (Tsunoda ら, 1985) や性・年齢 (角田ら, 1984) の観点から検討していたので彼らと行なう研究テーマの設定は大変容易であった。

そこで、決定されたテーマは肘関節屈筋群の筋断面積、筋線維組成及び筋線維断面積と前述の随意及び電気刺激による等尺性最大筋力の関係を検討することであった。

被検者には一般成人男子14名を選び、CT法により右上腕の横断画像を撮影した (写真3)。写真4はCT法で撮影された横断面写真を示したものである。この写真にみられる様に骨 (中央の白い部分) と各筋群をそれぞれ明確に識別することが出来た。このCT撮影は医学部のX-Ray室で行なったのだがX線技師は大変要領を得ており、MacDougall 博士や Sale 博士が行なっている実験内容を完全に理解している様であり、その測定は短時間のうちに終了した。

その撮影された横断面像から筋組織のトレース



写真3. CT法による上腕横断面像の撮影

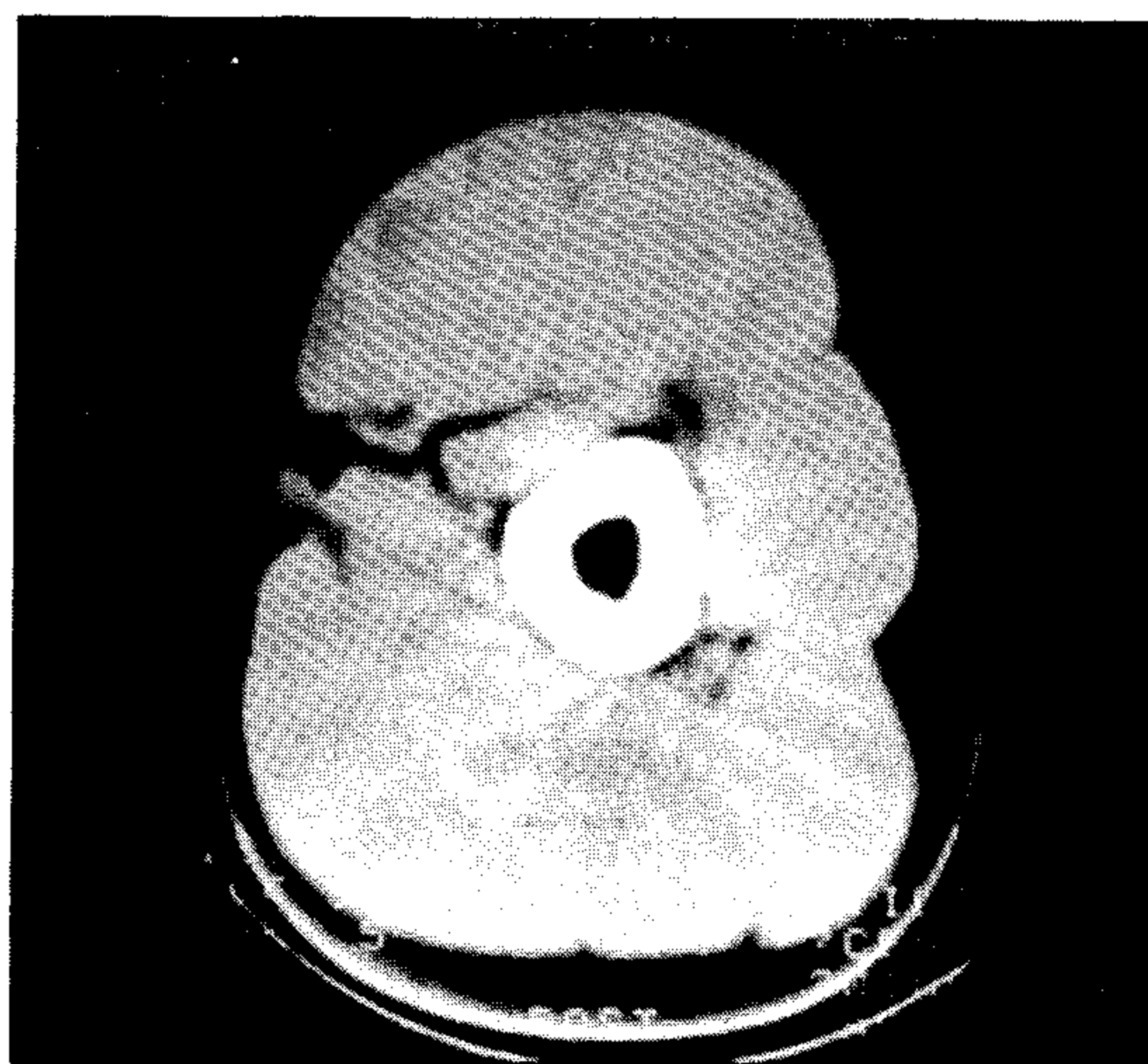


写真4. 上腕の横断面像

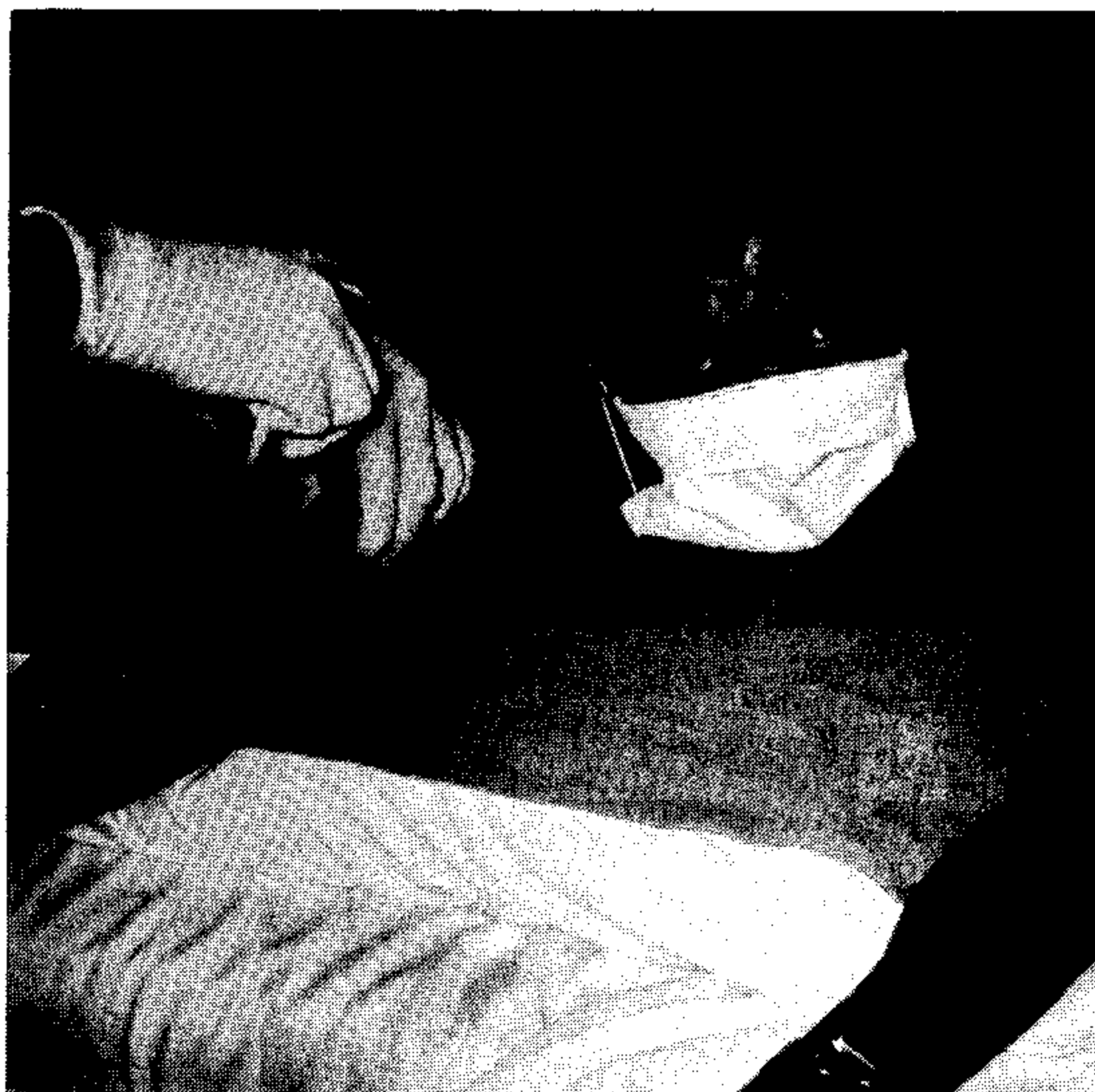


写真 5. Needle Biopsy 法による筋組織の採取
(被検者は筆者)

及びその断面積の測定は主として筆者のアイデアが採用され、マイコンに接続されているデジタイザーを用いて行なった。

次に、C T法で測定した部位と同部位の右上腕二頭筋から Needle Biopsy 法を用いて筋組織標本を採取した(写真5)。そのバイオプシーは医学部の呼吸・循環研究室の J. Sutton 博士(現 ACSM 会長)と共同研究を行なっている臨床医 S. Garner 博士に依頼して行なった。彼は年間200回以上もバイオプシーを行なっているとの事で大変すばらしい技術を持っていた。

その採取された筋組織はクリオスタットを用いて、 -20°C で筋の厚さ $10\mu\text{m}$ の横断切片を作成し、ミオシン A T Pase 染色により速筋線維(F T)と遅筋線維(S T)に分類した(写真6)。

肘関節屈筋群の随意及び電気刺激による最大筋力の測定は前述の測定装置を用いて、肘関節角度を 120° に固定して行なった。

従来から知られている様に、随意最大筋力は上腕二頭筋断面積及びF T線維断面積と有意な相関関係を示した。また、最大単縮力と筋線維断面積の関係はF T及びS T線維とも有意であった。

しかしながら、F T線維比率(%)は筋の断面積当りの等尺性随意最大筋力及び最大単縮力に影響を及ぼさなかった。

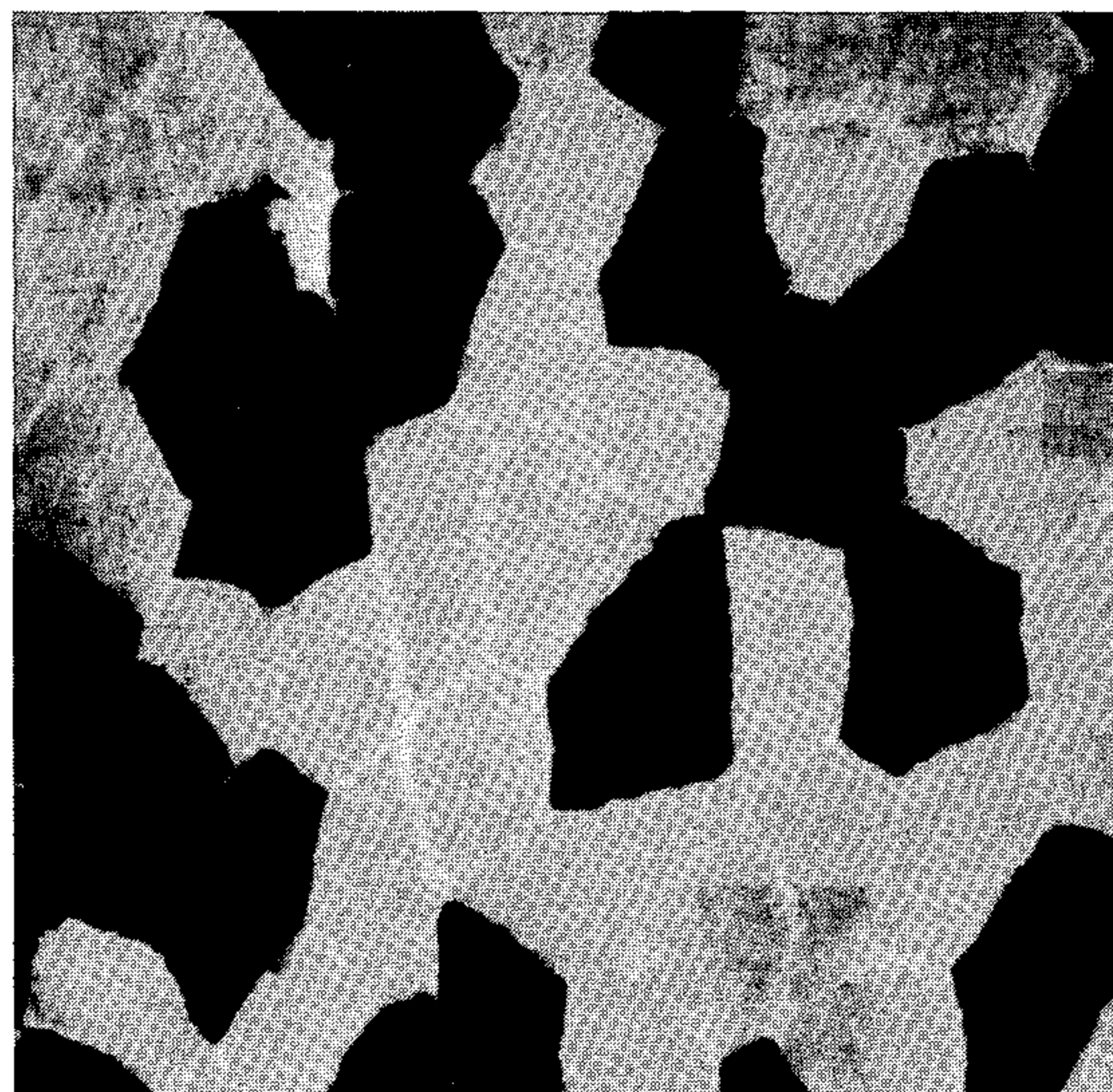


写真 6. 筋線維組織の横断面像
(濃く染まっているのがF T線維,
薄く染まっているのがS T線維)

響を及ぼさなかった。

以上が MacDougall 博士, Sale 博士たちで行なった研究活動の概要である。筆者が滞在していた一年間において、両博士は研究・教育(講義及び大学院生の指導等)活動に多忙な日々を過されていた。

特に、講義の準備は入念に行なっておられ、そのために休日も返上されることがしばしばあった。筆者も彼らの研究・教育に対する姿勢には大変教えられた事が多かった。

両博士とマックマスター大学体育学部の皆様にお礼を申し上げると共に、筆者の在外研究機関を紹介して下さった東京大学教養学部福永哲夫助教授、またその研究活動を支持、支援していただいた本学体育学部の諸先生方に深く感謝の意を表します。